

## 전기광학 폴리머를 이용한 편광 무의존 광 위상 변조기

오 현 호\*(吳賢鎬), 신 상 영(申相永)  
한국과학기술원 전기및전자공학과  
전화 : (042) 869-5420 / 팩스 : (042) 869-8020

### Polarization Independent Optical Phase Modulator Using Electro-Optic Polymer

Hyun-Ho Oh\*, Sang-Yung Shin  
Department of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and  
Technology  
E-mail : hhoh@eeinfo.kaist.ac.kr

#### Abstract

In this paper, we demonstrate a polarization independent optical phase modulator using electro-optic polymer, P2ANS. To overcome the intrinsic polarization dependency of electro-optic effect, we control the optic axis using a new electrode structure. P2ANS(42:75) and P2ANS(25:75) are used for the core layer and the cladding layer, respectively. The buried-type single mode waveguide is fabricated by oxygen ion reactive etching and electric poling is performed by applying 1,200 V at 135 °C. The measured  $V_{\pi}$  of the device for both TE and TM modes are 70 V.

#### I. 서론

전기광학 효과를 이용하는 기능성 광도파로 소자의 경우 일반적으로 입력광의 편광에 따라 출력 특성이 변하는 성질을 갖고 있다. 이는 전기광학 효과의 편광 의존성에 기인하는 것으로서 이러한 성질을 보완하기 위하여 소자와는 별도로 편광 유지 광섬유나 편광기 등 편광 조절 소자를 이용해야만 한다. 그러나 소자 자체에 편광 무의존 특성을 갖도록 하면 이러한 불편을 해

결할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 전기광학 효과를 이용하는 광위상 변조기를 제작하였고, 이는 광섬유 센서를 이용하여 물리량의 변화를 검출하려고 하는 장치에서 위상 변조를 담당하는 부분이나 광통신 시스템에서 유용하게 사용할 수 있다. 또한 본 논문에서 제안한 광위상 변조기의 원리를 이용하면 광강도 변조기도 제작할 수 있다.

집적광학을 이용한 편광 무의존 광변조기는 현재까지 LiNbO<sub>3</sub> 등의 강유전체, GaAs 등의 III-IV족 반도체 화합물, 전기 광학 폴리머 등의 재료들을 사용하여 제작되어 왔다[1]-[5]. 강유전체나 화합물 반도체의 경우는 공정이 잘 구축이 되어있고 소자 특성이 비교적 안정성이 있으나 고가이며 제작 공정이 비교적 복잡해서 대량 생산에 불리하다. 반면 비선형 광학 색소(nonlinear optical chromophore)를 첨가하여 전기광학 효과를 지니도록 만든 전기광학 폴리머는 스핀 코팅 후 반응 이온 식각이나 광표백 등의 비교적 간단한 제작 공정을 통해 저가의 광변조기를 제작할 수 있다. 광섬유와의 결합시에 굴절률 차이에 의하여 유발되는 반사 손실이 작다는 장점이 있으며 광파와 마이크로파 사이의 위상속도 부정합이 작기 때문에 고속 동작이 용이하다. 또한, 기판의 사용범위에 제한이 없으므로 Si이나 GaAs 기판을 사용할 경우 동일한 기판위에 전기적

회로와 광도파로 소자를 함께 집적시킬 수 있다. 또한 최근에는 전기광학 계수나 열적 안정성이 뛰어난 전기광학 폴리머가 계속 개발되고 있다.

본 논문은 전기광학 폴리머를 이용하여 새로운 형태의 전극구조에 입각한 편광 무의존 광 위상 변조기의 제작에 관한 것이다. 본 논문에서는 우선 편광 무의존 광 위상 변조기의 원리에 대하여 설명하고 다음으로 편광 무의존 광 위상 변조기의 제작 공정 및 실험 결과를 보인 후 결론을 맺는다.

## II. 편광 무의존 광 위상 변조기의 원리

편광 무의존 전기광학 광 위상 변조기란 인가 전압이 동일할 경우 입력광의 편광 상태에 상관없이 도파되는 빛의 위상을 동일하게 변조하는 소자를 의미한다. 이러한 소자를 제작하기가 어려운 근본적인 이유는 전기광학 효과가 편광 의존 특성을 갖기 때문이다[6]. 예를 들면 LiNbO<sub>3</sub> 나 전기광학 폴리머의 경우 광축 방향으로 전장이 인가될 때 광축과 나란한 방향의 편광을 갖는 빛이 느끼는 전기광학 계수는  $r_{33}$ 이고, 수직 방향의 편광을 갖는 빛이 느끼는 전기광학 계수는  $r_{13}(=r_{33}/3)$ 이므로 편광에 따라 서로 다른 특성을 갖게 된다.

그러나 전기광학 폴리머에서는 전기광학 효과를 얻기 위하여 비선형 광학 색소들을 거시적인 관점에서 일정 방향으로 정렬시키는 전장 폴링(electric poling)이라는 공정을 거치는데 전장 폴링을 위한 전극의 위치를 적절히 배치함으로써 광축을 원하는 방향으로 형성할 수 있다[7]. 그러므로 본 논문에서는 이러한 사실에 착안하여 편광 의존성을 해결하기 위한 새로운 형태의 전극 구조에 입각한 광 위상 변조기를 제안하였다. 전기광학 효과의 편광 의존성을 유효적으로 상쇄시키기 위한 전극 형태를 갖는 편광 무의존 광 위상 변조기의 개략도가 <그림 1>에 도시되어 있다.

<그림 1>에서 처럼 기판면에 수직 방향에 대하여 전극의 앞부분의 광축을 시계 방향으로 45°, 뒷부분의 광축을 반시계 방향으로 -45°로 만들기 위한 형태이며 두 부분의 길이는 동일하다. 입력 편광이 앞부분의 광축과 나란한 빛에 대하여 앞부분에서는  $\Delta\phi$ 의 위상변조가 일어나고 뒷부분에서는  $\Delta\phi/3$ 의 위상변조가 일어나므로 전체적으로는  $4\Delta\phi/3$  만큼의 위상변조를 겪는다. 마찬가지로 편광이 뒷부분의 광축과 나란한 빛에 대하여 앞부분에서는  $\Delta\phi/3$ 의 위상변조가 일어나고 뒷부분에서는  $\Delta\phi$ 의 위상변조가 일어나므로 역시 전체적으로는  $4\Delta\phi/3$  만큼의 위상변조를 겪는다. 그런데,

입력의 편광은 앞부분의 광축에 나란한 편광과 뒷부분의 광축에 나란한 편광으로 분해할 수 있으므로 결국 입력의 편광을 갖는 빛은 편광상태에 관계 없이 항상  $4\Delta\phi/3$  만큼의 위상변조를 겪는다고 할 수 있다.

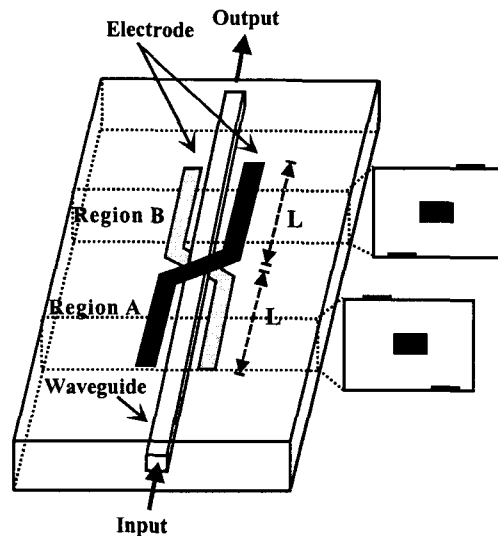


그림 1. 편광 무의존 광 위상 변조기의 개략도  
Fig. 1. Schematic diagram of polarization independent optical phase modulator

## III. 편광 무의존 광 위상 변조기의 제작과 측정

### III-1. 제작 공정

고온 산화 과정을 통하여 SiO<sub>2</sub>를 1 μm 이상 올린 Si 기판 위에 하부 전극으로 Cr/Au를 증착한다. 하부 클래딩으로서 P2ANS(25:75)을 4 μm 두께로 스펀 코팅한 후, 도파층으로서 P2ANS(42:58)을 1 μm 두께로 스펀 코팅한다. 식각 마스크 용도로 Au를 증착하고 포토리지스터(photoresistor)를 코팅한 후 하부 전극과 정렬시켜 광도파로를 패터닝(patterning)한다. 파문힌 구조의 광도파로를 위해 도파영역이외의 P2ANS(42:58)을 산소 반응 이온 식각(oxygen reactive ion etching)으로 완전히 식각한다. 상부 클래딩으로서 P2ANS(25:75)을 6 μm 두께로 스펀 코팅한다. 각층의 폴리머 코팅 후 진공 오븐(vacuum oven)에서 충분히 베이킹한다. 용매를 완전히 증발시키기 위하여 상온에서 1시간, 160 °C에서 2시간 유지시킨다. 상온에서 1시간 두는 이유는 급격한 온도 변화 때문에 코팅된 폴리머층에 균열이 발생하는 것을 막기 위해서다. 상부 전극으로 Au를 증착하고 하부 전극 및 광도파로와 정렬시켜 패

터닝한다. 전기광학 효과를 나타내도록 하기 위해서 135 °C 의 대류 오븐에서 상부 전극과 하부 전극 사이의 폴리머층에 1,200 V의 고전압을 걸어줌으로써 전장 폴링을 한 후, 입출력 단면을 클리빙(cleaving)한다.

III-2. 전장 폴링된 도파로의 광축을 찾는 실험

<그림 1>과 같은 시편에서 영역 A 부분이나 영역 B부분이 전장 폴링 후 광축이 어떤 방향으로 형성되었는지 알아내기 위하여 상하부 전극간의 횡방향 간격이 다른 시편으로부터 영역 A나 영역 B부분만을 클리빙하여 <그림 2>와 같은 장치를 구성하였다.

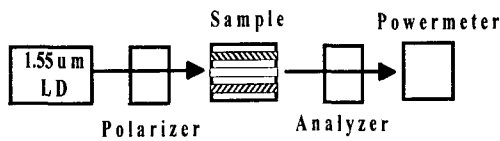


그림 2. 전장 폴링된 광도파로의 광축 측정 장치  
Fig. 2. Measurement setup of optic axis in electric poled waveguide

편광기(polarizer)의 편광각을 5° 간격으로 돌려가며 시편과 분석기(analyzer)를 거치고 나온 출력광의 광파워를 측정하였다. 이때, 편광기와 분석기의 편광각이 항상 서로 직교를 유지하도록 하였다. 이것은 폴링에 따라 유기된 도파로의 복굴절에 의하여 광축과 일치하지 않는 편광을 갖는 빛이 입사되면 도파로를 거치면서 빛의 편광이 회전하게 되므로 분석기를 지나면 회전한 양만큼의 파워가 나오고, 광축과 일치하는 편광을 갖는 빛이 입사되면 도파로를 거치도 편광이 회전하지 않으므로 분석기를 지난 후에 빛이 나오지 않는다는 사실을 이용한 것이다. 이를 통하여 상하부 전극간의 횡방향으로의 간격이 얼마일 때 광축이 기판면에 대하여 45°로 형성되는가를 알 수 있었다. 전극간의 간격에 따른 광축의 방향은 현재 보충 실험 중이므로 그 결과는 학회에서 발표할 것이다.

III-3. 위상 변조기의 특성

제작된 위상 변조기의 전극에 변조 신호를 가했을 때 입력광의 편광에 따라서 위상 변화가 얼마나 달라지는가를 조사하기 위하여 <그림 3>와 같은 측정 장치를 꾸렸다. 광원으로 1.55 μm 레이저 다이오드(laser diode)를 사용하였으며 변조기의 위상 변화를 검출하기 위해서 50:50 분할비를 갖는 2 X 2 광섬유 결합기를 이용하여 마하젠더 간섭계를 구성하였다. 제작된 위상 변조기를 입출력단에 광섬유를 가까이 갖다 대어

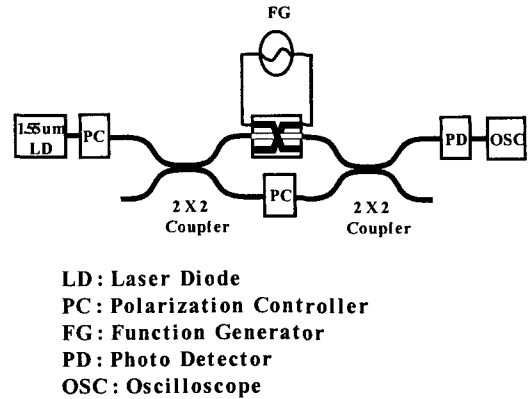


그림 3. 위상 변조 특성 측정 장치  
Fig. 3. Measurement setup of phase modulation characteristics

결합하는(butt coupling) 방법을 사용하여 광섬유 마하젠더의 한쪽 팔에 삽입하였다. 변조기의 전극에 전압을 인가함으로써 발생하는 변조기의 위상 변화는 광섬유 마하젠더 출력에 광다이오드를 두어 광세기의 변화로서 검출하였으며 그 결과는 <그림 4>에 도시하였다. 그리고 입력광의 편광을 조절하기 위해서 편광 조절기(polarization controller)를 사용하였으며 광섬유 마하젠더의 출력은 광다이오드(photodiode)를 사용하여 검출하였다.

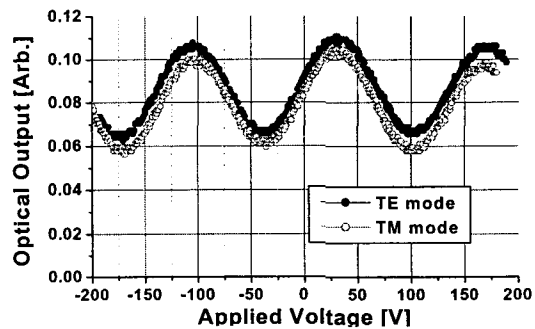


그림 4. 제작된 위상 변조기의 특성  
Fig. 4. Characteristics of the fabricated phase modulator

<그림 4>에서 보듯이 상하부 전극 간의 횡방향 간격이 25 μm일 때 거의 편광 의존성이 없는 결과를 얻었는데  $V_{\pi}$  는 TE모드와 TM모드 둘다 70 V 정도로 측정되었다. 이에 대응하는 전기광학 계수는 3 pm/V

정도로 계산된다. 변조 소멸비에서 약간의 차이가 나는 이유는 TE모드와 TM모드의 광손실이 약간 차이가 있기 때문이다. 이 결과는 전기광학 폴리머의 일종인 PMMA-DR1을 이용하여 제작한 이전의 결과[8]보다  $V_{\pi}$  측면에서 세배정도 향상되었고 TE모드와 TM모드의 특성이 더욱 일치하는 결과이다. 그러나 기본적으로 소멸비가 좋지 않은 이유는 소자 자체의 특성이라기 보다는 광섬유 마하젠더 간섭계를 꾸밀 때 양쪽 경로의 빛의 세기를 정확히 일치시키기가 어렵고, 또한 이때 사용한 2 X 2 결합기의 분할비가 정확하게 50:50이 되지 않기 때문이다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 광섬유 센서 시스템과 광통신 시스템에서의 활용을 목적으로 전기광학 폴리머를 이용한 편광 무의존 광위상 변조기를 제안하고 제작하였다. 본 논문에서 사용한 전기광학 폴리머는 코아는 P2ANS(42:58), 클래딩은 P2ANS(25:75)이고 산소 반응이온 식각 공정을 이용하여 파문힌 구조의 광도파로를 만들었다. 전장 폴링으로 광축을 기판면에 대하여  $45^\circ$  방향으로 형성시키기 위한 구조의 전극을 가지는 편광 무의존 광 위상 변조기를 설계 및 제작하였다. 전장 폴링을 1,200 V에서 수행하였으며, 상부 전극과 하부 전극간의 횡방향 간격이 약  $25 \mu\text{m}$ 일 때 편광 무의존 특성을 보였다. 이 때의  $V_{\pi}$ 는 TE모드와 TM모드 둘다 약 70 V 로서 일치하였다.

#### 참고문헌

- [1] W. K. Burns, T. G. Giallorenzi, R. P. Moeller and E. J. West, "Interferometric Waveguide modulator with Polarization-independent Operation," Appl. Phys. Lett., Vol. 33, No. 11, pp. 944-947, 1978.
- [2] K. Takizawa, M. Okada and T. Aida, "Polarization-independent and Optical-Damage-Insentive LiNbO<sub>3</sub> Interferometric Waveguide Modulator," Japanese J. of Appl. Phys., Vol. 27, No. 4, pp. L696-L698, 1988.
- [3] R. Weinmann, D. Baums, U. Cebulla, H. Haisch, D.Kaiser, E. Kunn, E. Lach, K. Satzke, J. Weber, P. Wiedemann and E. Zielinski, "Polarization-independent and Ultra-high Bandwidth Electroabsorption Modulator in Multiquantum-well Deep-ridge Waveguide Technology," IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 8, No. 7, pp. 891-893, 1996.
- [4] Min-Cheol Oh and Sang-Yung Shin, "Polymeric Polarization-independent Modulator Incorporation Twisted Optic-axis Waveguide Polarization Convertors," IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 8, No. 11, pp. 1482-1485, 1996.
- [5] Sang-Shin Lee and Sang-Yung Shin, "Polarization-insensitive Digital Optical Switch Using an Electro-optic Polymer Rib Waveguide," Electron. Lett., Vol. 33, No. 4, pp. 314-316, 1997.
- [6] A. Yariv, Optical Electronics, 4th ed. Sanders College Publishing, pp. 309-336, 1991
- [7] W.-Y. Hwang, J. J. Kim, T. Zyung, M.-C. Oh and S.-Y. Shin, "TE-TM Mode Converter in a Poled-polymer waveguide," IEEE J. Quantum Electron. Vol. 32, No. 6, pp. 1054-1062, 1996
- [8] 오현호, 신상영, "전기광학 폴리머를 이용한 편광 무의존 광위상 변조기," 제6회 광전자공학 학술회의, FB3-3, 광주과학기술원, 1999